

# 农田养分平衡理论与实践进展综述

厦门大学环境与生态学院 彭娜君

**[摘要]** 该文对国内外农田养分平衡研究进展以及因养分失衡引起的农业面源污染进行综述,并借鉴国外农田养分综合管理实践经验,以期加强我国区域农田生态系统养分平衡管理。

**[关键词]** 养分平衡 研究进展 农田生态系统综合管理

养分作为维持植物生长基本要求的重要物质之一,具备资源的属性,养分资源包括土壤、有机肥、化肥及环境所能提供的全部养分,农田生态系统的养分循环与平衡是影响生产力和环境的重要过程。近几十年来,我国的农业生产结构从以种植业为主逐步向以种植与养殖并重过渡,集约化的生产水平日益提高。国内外许多学者从不同尺度、不同层面对农业生态系统的养分平衡进行了研究。

## 1 农田养分平衡研究进展

农田养分平衡分析可在农场、区域、国家和全球等不同尺度进行。

国外在农场尺度上的养分平衡分析主要是基于投入、损失和系统平衡<sup>[1]</sup>,如分析氮肥管理时可以基于农场界面的氮盈亏和农场系统氮平衡<sup>[2-3]</sup>;在区域尺度上主要基于养分投入—输出的盈亏或者平衡进行分析,如在农业种植业和牲畜养殖生产区尺度上对生态系统养分平衡的评价<sup>[4-5]</sup>;在国家<sup>[6]</sup>、全球尺度<sup>[7]</sup>主要是对农田生态系统养分平衡、特别是氮素平衡进行评价,对养分中同样重要的磷素和钾素则较少涉及。

国内开展的养分平衡分析主要有:对国家尺度<sup>[8-9]</sup>,长江、黄河和珠江3个流域尺度<sup>[10]</sup>;曾悦等<sup>[11]</sup>开展九龙江流域尺度氮平衡分析,以及省区尺度农田生态系统养分平衡的计算和评价<sup>[12-16]</sup>。

### 1.1 国外养分循环和收支平衡研究

国外关于农田养分循环和平衡的研究较早。1976年,在阿姆斯特丹召开的“矿质养分在农业生态系统中的循环讨论会”<sup>[17]</sup>,结合欧、美、亚各洲65个国家和地区不同类型农业生态系统的实例,对世界范围内氮(N)、磷(P)、钾(K)等矿质养分的平衡进行了综合分析<sup>[18]</sup>,系统提出了代表一个国家、地区、农场的农业生态系统养分转移流程。随后,学者们在N循环领域开展了大量研究,如Clark等<sup>[19]</sup>对陆地N素循环进行了分析,Smil<sup>[20]</sup>在全球尺度上分析了农业生态系统氮循环和平衡的变化。在系统的研究层次上,除土壤—作物系统养分循环平衡的研究外<sup>[21]</sup>,增加了对包含动物的复合

型生态系统的大量研究<sup>[22]</sup>。

在养分收支平衡研究上,Bationo等<sup>[7]</sup>、Nandwa等<sup>[23]</sup>根据研究方法进行养分在投入产出过程中流动平衡问题的探讨。Harris<sup>[19]</sup>从田块—农场的水平研究卡诺(尼日利亚北部城市)养分收支平衡情况,结果发现氮素处于亏缺状态,而磷素和钾素刚达到平衡。Kyllingsbaek等<sup>[6]</sup>研究了丹麦1980—2004年间养分平衡的变化。Juan等<sup>[24]</sup>探讨了非洲在不同空间尺度的养分平衡。

### 1.2 国内养分循环和收支平衡研究

国内在农田养分循环的研究中多以培肥土壤、提高肥料利用率和作物生产力为目标,重点是土壤养分转化和损失过程。近年来,学界比较重视多养分交互作用研究,对某种特定生产方式下农田作物的养分分配状况,以及系统中养分的输入和输出状况进行研究;研究土壤养分及某作物产量的关系、某区域土壤养分演变特征等。张慧等<sup>[25]</sup>以县为研究单位(属于小区域研究方面),研究了北京两个县的磷平衡状况,涉及的输入项包括化肥施用、有机肥、种子、降水和灌溉水带入,输出项包括作物吸收、淋溶损失和侵蚀损失。

关于农业生态系统养分循环与平衡的研究,鲁如坤等<sup>[26-28]</sup>对我国各主要农业生态区的典型地区生态系统做了调查和研究,提出了农田养分循环的养分收入、支出参数,计算得出全国各台站所在地区(浙江、辽宁、河南、新疆、江西)和农户的农田养分循环和平衡现状。

在养分平衡状况的调查和研究方面,现有研究成果对我国生产实践中肥料施用措施的改进提供了必要的依据。武兰芳等<sup>[29]</sup>以山东省禹城为例,对以种养结合为主要方式的生产区农田氮、磷总体平衡状况进行计算分析,用以指导化肥、粪肥氮磷的合理管理和调配使用。

## 2 养分失衡导致农业面源污染

### 2.1 农业面源污染状况

20世纪70年代以来,中国农业生产中的化肥用量逐年增加,农业面源污染严重。根据朱兆良<sup>[8]</sup>的研究成果,2002

年我国农田化肥氮 ( $2.471 \times 10^7$  t) 通过损失进入环境, 2004 年我国农田化肥氮中有 19.1% 通过损失 ( $N_2$ ) 进入环境, 总量达  $4.94 \times 10^6$  t。2010 年《第一次全国污染源普查公报》显示, 全国农业源污染物排放对水环境的影响较大。2015 年, 全国 967 个地表水国控断面 (点位) 开展了水质监测, I 类、II 类和劣 V 类水质断面分别占 64.5%、26.7% 和 8.8%。围绕“一控两减三基本”目标, 不断加大农业生态环境保护与治理工作力度, 全国水稻、玉米、小麦三大粮食作物化肥利用率为 35.2%, 比 2013 年提高 2.2 个百分点; 农药利用率为 36.6%, 比 2013 年提高 1.6 个百分点<sup>[30]</sup>。

## 2.2 农业面源污染主要原因

### 2.2.1 产能过剩

据中国氮肥、磷肥协会统计, 2013 年尿素产量过剩 1010 万吨, 磷肥产量过剩 450 万吨。根据农业部 339 个国家级基层肥料信息网农户调查数据统计结果, 中国化肥的总施用量及单位面积施用量已处于世界高水平<sup>[31]</sup>。

### 2.2.2 农业经营行为不善, 环保意识不强

农户为保证当年的收益水平, 过量投入化肥、农药, 农业环境可持续发展意识不强。农田化肥的使用量增加, 化肥的残留和损耗量也越大。农户对面源污染的认识肤浅, 无意识控制、减少化肥和农药的投入。

### 2.2.3 缺乏有效的公共配套服务支撑

乡镇机构改革及部分区域经济落后, 农业技术服务与推广机构人员流失, 农民耕田无法得到专业和以环保为导向的农业技术指导, 导致化肥和农药滥用。

### 2.2.4 施肥不平衡, 肥料利用率低下

施肥技术落后和养分不平衡导致化肥利用率低。发达地区农民的氮肥施肥量通常较高, 且常用于作物生长的早期阶段, 因而易造成较高的氮损失。此外, 所用氮肥多是易于损失的品种, 如尿素和碳酸氢铵, 对环境的威胁较大。过量施用灌溉水, 特别是蔬菜地, 容易引起肥料的淋洗损失。

### 2.2.5 规模化养殖业发展快, 有机废物处理率低

我国规模化养殖业发展迅猛。全国 90% 以上的畜禽养殖场没有污水处理系统, 畜禽粪便大多直接排入地表水, 而很少作为肥料资源通过农田再利用。部分发达的城乡结合地区, 畜禽业迅速发展与人口急剧增加, 并且当地缺乏政府统一修建的排污管道和污水集中处理系统, 以致有机养分对农田生态系统超负荷排放, 农田生态系统无法循环再利用, 引起环境污染。

## 3 国内外农田养分综合管理策略

### 3.1 欧盟主要成员国的养分管理策略

为应对土壤中存在过量盈余的氮、磷等养分对地表水、

地下水以及大气环境造成的威胁, 欧盟开始订立共同的农业政策, 共颁布 300 多项有关环境的法律, 从综合水质管理、空气质量政策及海洋管理政策三个方面协调养分管理。其中最著名的是“硝酸盐指令” (Nitrates Directive 91/676/EEC), 该制度以保护环境为目的, 并以农牧结合、控制养分投入的措施为核心, 在一定程度上, 对农业产量及经济效益产生制约作用。

德国的养分管理政策依照肥料推荐展开, 通过制定政策、法规, 强制规定农民的化肥施用量不超过作物需求量, 并考虑土壤供氮量、作物残留等在土壤中的养分量以及有机肥相应提供的养分数量, 以确保作物吸收及养分的高效利用, 减少养分流失的风险。欧盟各国把农场的氮营养平衡作为养分立法的关键因素, 要求农民按照每年盈余量的许可临界值衡量其主要投入和产出, 临界值的确定主要依据作物种类和土壤类型, 若盈余量超过规定的最高限值, 将被征收环境污染税或处以其他类型处罚。

### 3.2 我国农田生态系统养分管理对策

近年来, 我国对农业环境保护和农田养分管理逐渐重视。2005 年 12 月 29 日颁布的《中华人民共和国畜牧法》特别规定了畜禽养殖场、养殖小区应当保证畜禽粪便、废水及其他固体废物综合利用或者无害化处理设施的正常运转, 保证污染物达标排放, 防止污染环境。2010 年 3 月 8 日, 国家环保部又出台了《化肥使用环境安全技术导则》, 规定了化肥环境安全使用原则, 源头控制技术措施, 减少化肥流失的措施和环境安全使用管理措施。2013 年 11 月 11 日, 国务院出台《畜禽规模养殖污染防治条例》, 该条例以生态文明建设精神为指导, 引领现代农业、生态农业发展, 推动产业发展走绿色农业、循环农业和低碳农业的路子, 采取全过程管理的思路, 对产业的布局选址、环评审批、污染防治配套设施建设等前置环节做出了规定, 对废物的处理方式、利用途径等环节做出了规定。此外, 陈防等<sup>[32]</sup>认为养分使用的科学性对于不断优化管理措施很重要, 研究“4R” (4 个“正确”: 选择正确的肥料品种、采用正确的肥料用量、在正确的时间将肥料施用在正确的位置上) 养分管理的主要因素, 从经济、社会和环境三个层面分别对四个阶段的影响因素进行了分析, 并探讨了其对农业可持续发展的影响。翁伯琦<sup>[33]</sup>对造成中国农业土壤养分过量累积而利用率较低, 以及农业生产增肥不增产的原因进行了探究, 提出应用食物链养分管理等方式提高化肥利用率, 减少因施用化肥而造成的环境污染。

### 参考文献:

- [1] Van der Werf H, Petit J. Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods[J].

- Agricultural, Ecosystem & Environment, 2002, 93(1-3): 131-145.
- [2] Leach K, Allingham K, Conway J, et al.. Nitrogen management for profitable farming with minimal environmental impact: the challenge for mixed farms in the Cotswold Hills, England[J]. International. Journal. Agricultural. Sustain, 2004, 2(1): 21-32.
- [3] Schroder J, Aarts H, Ten Berge H, et al.. An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use[J]. European Journal of Agronomy, 2003, 20(1-2): 33-34.
- [4] Smaling E, Stoorvogel J J, Windmeijer P N. Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales .distric scale[J]. Fertilizer Research, 1993, 35(3): 227-250.
- [5] Bouwman A, van Drecht G, van der Hoek K. Surface nitrogen balances and reactive N loss to the environment from global intensive agricultural production systems for the period 1970-2030[J]. Science in China Series C: Life Sciences, 2005, 48 (special issue): 767-779.
- [6] Kyllingsback A, Hansen J. Development in nutrient balances in Danish agriculture 1980-2004[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2007, 79(3): 267-280.
- [7] Bationo A, Lompo F, Koala S. Research on nutrient flows and balances in West Africa: state of the art agriculture[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 1998, 71(1-3): 19-35.
- [8] 朱兆良. 合理使用化肥 充分利用有机肥 发展环境友好的施肥体系[J]. 中国科学院院刊, 2003, 18(2): 89-93.
- [9] 李书田, 金继运. 中国不同区域农田养分输入、输出与平衡[J]. 中国农业科学, 2011, 44 ( 20 ) : 4207-4229.
- [10] Xing G X, Zhu Z L. Regional nitrogen budgets for China and its major watersheds[J]. Biogeochemistry, 2002, 57/58(1): 405-427.
- [11] 曾悦, 洪华生, 曹文志, 等. 九龙江流域养猪场氮磷流失特征研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(2): 116-120.
- [12] 叶厚专, 范业成, 陶其骥. 江西 C、N、P、K 平衡研究[J]. 江西农业学报, 1999, 11(1): 9-16.
- [13] 叶厚专, 范业成. 我省农田养分平衡和循环基本参数[J]. 土壤肥料, 1999 (2): 38-41.
- [14] 叶厚专, 范业成, 方美莲. 南昌县农田养分平衡和循环研究[J]. 江西农业科技, 1999(3): 23-25.
- [15] Cao W Z, Zhu H J, Chen S L. Impacts of urbanization on topsoil nutrient balances-a case study at a provincial scale from Fujian, China [J]. Catena, 2007, 69 (1): 36-43.
- [16] 武兰芳, 欧阳竹. 种养结合生产区农田磷素平衡分析——以山东禹城为例[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(7): 1444-1450.
- [17] 方玉东. 农田养分收支平衡的研究进展[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2008, 39(3): 492-494.
- [18] 曹湊贵, 张光远, 王运华. 农业生态系统养分循环研究概况[J]. 生态学杂志, 1998, 17(4): 26-32.
- [19] Clahr F, Rosswall T. Terrestrial Nitrogen Cycles [R]. Process ecosystem strategies and management impacts, Ecological Bulletins (Stockholm) 33. 1981.
- [20] Smil V. Nitrogen in crop production: an account of global flow[J]. Global Biogeochemical Cycles, 1999, 13(2): 647-662.
- [21] Harris F. Farm-level assessment of the nutrient balance in northern Nigeria[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 1998, 71(S1-3): 201-214.
- [22] Jorg R, Mareo R. The N-cycle as determined by intensive agriculture-examples from central Europe and China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2000, 57: 33-46.
- [23] Nandwa S.M, Bekunda M.A. Research on nutrient flows and balances in East and Southern Africa: state-of-the-art[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 1998, 71(1-3): 5-18.
- [24] Juan G., Gerd D., Georg C. Nutrient balances in African land use systems across different spatial scales: A review of approaches, challenges and progress [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2010(136): 1-15.
- [25] 张慧, 高如泰, 夏训峰, 等. 北京地区农田生态系统磷养分平衡研究——以密云县和房山区为例[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(10): 195-199.
- [26] 鲁如坤, 刘鸿翔, 闻大中, 等. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究 . 全国和典型地区养分循环和平衡现状[J]. 土壤通报, 1996, 27(5): 193-196.
- [27] 鲁如坤, 刘鸿翔, 闻大中, 等. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究 . 农业养分收入参数[J]. 土壤通报, 1996, 27(4): 151-154.
- [28] 鲁如坤, 刘鸿翔, 闻大中, 等. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究 IV. 农田养分平衡的评价方法和原则[J]. 土壤通报, 1996, 27(5): 197-199.
- [29] 武兰芳, 欧阳竹. 种养结合生产区农田氮素平衡分析——以山东省禹城为例[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1312-1319.
- [30] 中国环境状况公报, 2015
- [31] 杨帆, 孟远夺, 姜义, 等. 2013 年我国种植业化肥施用状况分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 217-225.
- [32] 陈防, 张过师. 农业可持续发展中的“4R”养分管理研究进展[J]. 中国农学通报, 2015(23): 245-250.
- [33] 翁伯琦, 赵雅静, 郑祥洲, 等. 现代农业发展中作物养分管理与调控 [J]. 亚热带资源与环境学报, 2014(2): 10-17.